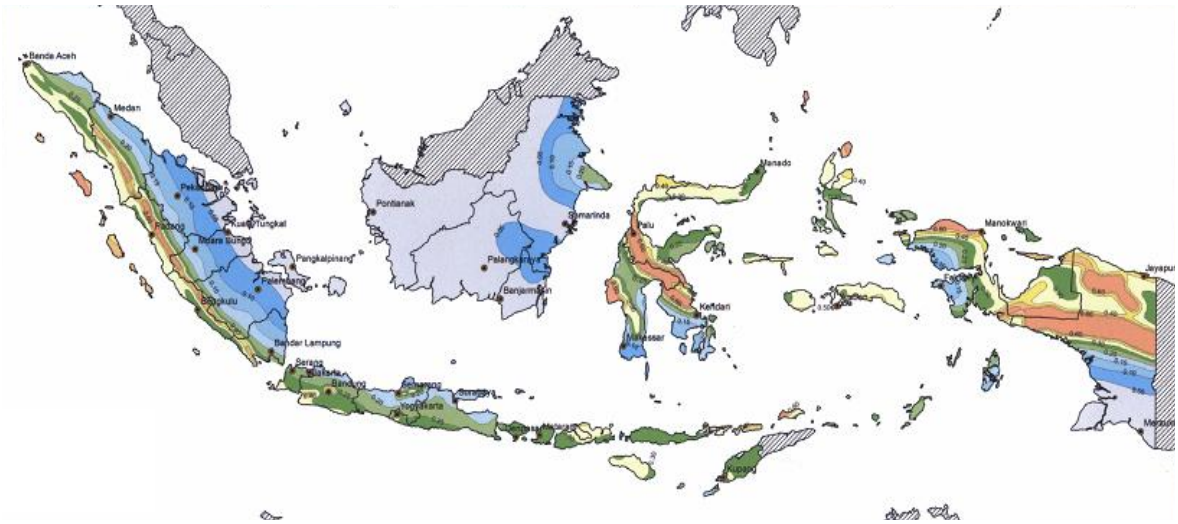
# PETA *HAZARD* GEMPA INDONESIA 2010

**SEBAGAI ACUAN DASAR**

**PERENCANAAAN DAN PERANCANGAN INFRASTRUKTUR TAHAN GEMPA**




Jakarta, Juli 2010

# KEMENTERIAN PEKERJAAN UMUM

**Didukung oleh :**

## SAMBUTAN MENTERI PEKERJAAN UMUM

Dengan mengucap syukur kehadirat Tuhan Yang Maha Kuasa, saya menyambut gembira atas terbitnya buku ***Peta Hazard Gempa Indonesia 2010 sebagai Acuan Dasar Perencanaan dan Perancangan Infrastruktur Tahan Gempa.***

Indonesia menempati zona tektonik yang sangat aktif dimana dalam enam tahun terakhir saja tercatat beberapa gempa besar seperti Gempa Aceh yang disertai tsunami tahun 2004, Gempa Jogya tahun 2006, dan Gempa Padang tahun 2009. Gempa-gempa tersebut telah menyebabkan hilangnya ribuan jiwa, runtuh dan rusaknya ribuan infrastruktur dan bangunan, serta keluarnya dana trilyunan rupiah untuk rehabilitasi dan rekonstruksi.

Pencegahan kerusakan akibat gerakan tanah dapat dilakukan melalui proses perencanaan dan konstruksi yang baik dan dengan memperhitungkan suatu tingkat beban gempa rencana. Salah satu cara untuk mengurangi dampak bencana gempa adalah dengan menyiapkan standar perencanaan infrastruktur tahan gempa dan menerapkannya pada prasarana yang dibangun di Indonesia. Sebagai bagian dari standar infrastruktur yang sedang disusun, Peta Gempa Indonesia 2010 sangat diperlukan sebagai acuan dasar perencanaan dan perancangan infrastruktur untuk mendapatkan faktor gempa yang dibutuhkan dalam perencanaan.

Saya berharap Peta Gempa Indonesia 2010 ini dijadikan rujukan dan diterapkan dalam perencanaan dan perancangan infrastruktur tahan gempa sehingga dampak bencana gempa di Indonesia dapat diminimalkan.

Jakarta, Juli 2010

Menteri Pekerjaan Umum,

Djoko Kirmanto

# KATA SAMBUTAN

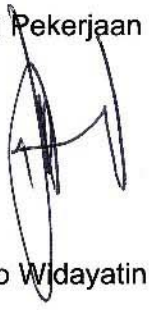
Berkat rakhmat Allah Swt dan kerja keras seluruh Tim, telah diterbitkan buku Peta *Hazard* Gempa Indonesia untuk acuan para perencana dalam merencanakan pembangunan infrastruktur tahan gempa.

Dalam upaya mengurangi korban jiwa dan kerugian akibat gempa, Kementerian Pekerjaan Umum telah mengeluarkan Peta Gempa Indonesia terbaru. Peta ini menggambarkan percepatan puncak dan respon spektra di batuan dasar hasil analisa probabilistik untuk berbagai periode gempa. Tersusunnya peta ini tidak terlepas dari dukungan dalam berbagai bentuk sumber daya seperti dari Kementrian Ristek, BNPB melalui AIFDR, ITB, Kementrian ESDM, LIPI, BMKG, dan USGS.

Dengan diterbitkannya Surat Edaran menteri Pekerjaan Umum tentang "Pemberlakukan Peta Gempa Indonesia" tersebut, bukan berarti tugas Tim ini telah selesai. Terkait infrastruktur tahan gempa, tentunya pihak kementerian Pekerjaan Umum beserta para pakar saat ini perlu terus mengembangkan informasi dan pengetahuannya tentang kegempaan dan akan tetap berkomitmen untuk terus lebih mengembangkan pengetahuan dalam rangka mitigasi bencana gempa.

Semoga hasil kerja keras seluruh tim ini dapat bermanfaat bagi mayarakat dalam upaya mengurangi resiko akibat gempa terhadap infrastruktur sebagaimana yang kita harapkan bersama.

Kepala
Badan Penelitian dan Pengembangan
Kementerian Pekerjaan umum



Ir. Sumaryanto Widayatin, MSCE

# PRAKATA

Atas nama Tim Revisi Peta Gempa Indonesia 2010, kami mengucapkan terima kasih atas dukungan dan bantuan yang telah diberikan selama studi ini oleh Kementrian Pekerjaan Umum, Kementrian Riset dan Teknologi, Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB) melalui AIFDR (*Australia-Indonesia Facility for Disaster Reduction*), dan USGS (*United States Geological Survey*) serta masukan teknis yang diberikan oleh Tim Penyusun Revisi SNI 03-1726-2002 sehingga buku Peta *Hazard* Gempa Indonesia ini dapat kami selesaikan sesuai dengan target waktu yang diharapkan.

Dalam pengembangan peta hazard gempa Indonesia, Tim telah menggunakan parameter sumber gempa yang berasal dari berbagai publikasi, penelitian sebelumnya dari para anggota tim, dan informasi terkini yang didapatkan selama studi ini serta merangkum dan mengintegrasikan studi-studi yang telah dilakukan sebelumnya.

Semoga hasil studi ini dapat bermanfaat bagi semua fihak, terutama bagi perencana yang menggunakan Peta Hazard Gempa ini untuk perencanaan dan perancangan infrastruktur tahan gempa.

Tim Revisi Peta Gempa Indonesia 2010,

Ketua

Prof. Dr. Masyhur Irsyam.

# DAFTAR ISI

SAMBUTAN MENTERI PEKERJAAN UMUM ..... i
KATA SAMBUTAN ..... ii
PRAKATA ..... iii
DAFTAR ISI ..... iv
DAFTAR GAMBAR ..... v
DAFTAR TABEL ..... vi
1 PENDAHULUAN ..... 1
2 METODOLOGI PEMBUATAN PETA *HAZARD* GEMPA INDONESIA ..... 3
3 PETA *HAZARD* GEMPA INDONESIA 2010 ..... 6
4 GONCANGAN GEMPA DI PERMUKAAN TANAH DAN FAKTOR AMPLIFIKASI ..... 16
4.1 Klasifikasi *Site* ..... 16
4.2 Penentuan Percepatan Puncak di Permukaan Tanah ..... 17
4.3 Penentuan Respon Spektra di Permukaan Tanah ..... 18
5 PENUTUP ..... 21
DAFTAR PUSTAKA ..... 22

## DAFTAR GAMBAR

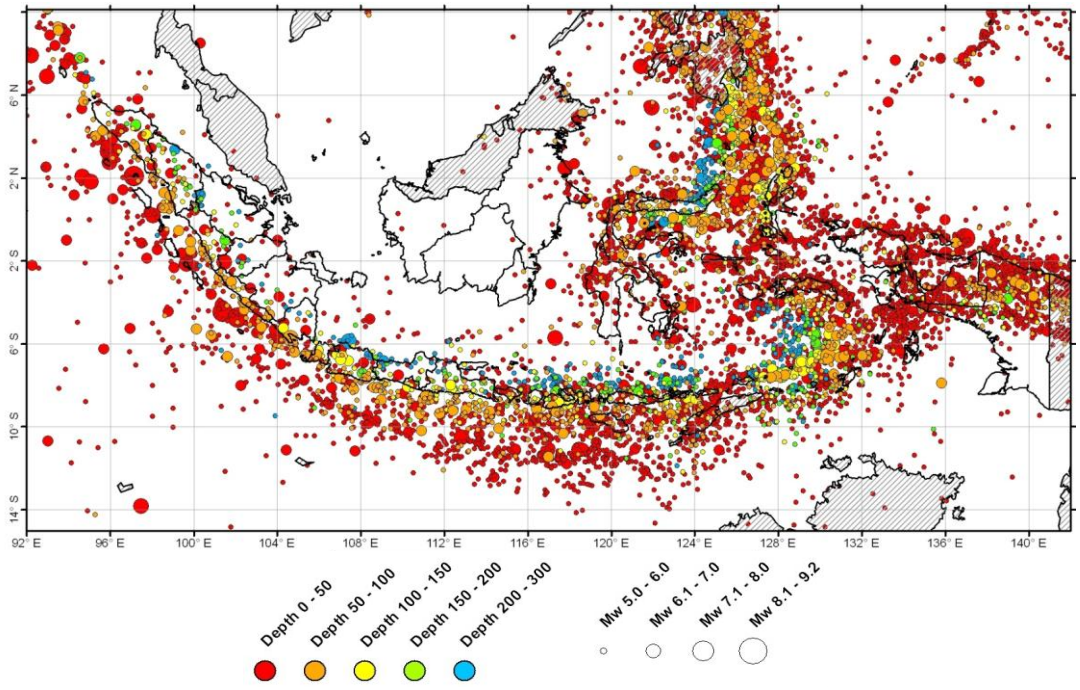

Gambar 1. Data episenter gempa utama di Indonesia dan sekitarnya untuk magnituda $M \geq 5.0$ yang dikumpulkan dari berbagai sumber dalam rentang waktu tahun 1900-2009. ..... 1
Gambar 2. Peta Tektonik dan Sesar Aktif di Indonesia ..... 5
Gambar 3. Peta percepatan puncak (PGA) di batuan dasar ($S_B$) untuk probabilitas terlampaui 10% dalam 50 tahun ..... 7
Gambar 4. Peta respon spektra percepatan 0.2 detik ($S_S$) di batuan dasar ($S_B$) untuk probabilitas terlampaui 10% dalam 50 tahun ..... 8
Gambar 5. Peta respon spektra percepatan 1.0 detik ($S_1$) di batuan dasar ($S_B$) untuk probabilitas terlampaui 10% dalam 50 tahun ..... 9
Gambar 6. Peta percepatan puncak (PGA) di batuan dasar ($S_B$) untuk probabilitas terlampaui 10% dalam 100 tahun ..... 10
Gambar 7. Peta respon spektra percepatan 0.2 detik ($S_S$) di batuan dasar ($S_B$) untuk probabilitas terlampaui 10% dalam 100 tahun ..... 11
Gambar 8. Peta respon spektra percepatan 1.0 detik ($S_1$) di batuan dasar ($S_B$) untuk probabilitas terlampaui 10% dalam 100 tahun ..... 12
Gambar 9. Peta percepatan puncak (PGA) di batuan dasar ($S_B$) untuk probabilitas terlampaui 2% dalam 50 tahun ..... 13
Gambar 10. Peta respon spektra percepatan 0.2 detik ($S_S$) di batuan dasar ($S_B$) untuk probabilitas terlampaui 2% dalam 50 tahun ..... 14
Gambar 11. Peta respon spektra percepatan 1.0 detik ($S_1$) di batuan dasar ($S_B$) untuk probabilitas terlampaui 2% dalam 50 tahun ..... 15
Gambar 12. Bentuk tipikal respon spektra desain di permukaan tanah ..... 20

## DAFTAR TABEL

Tabel 1. Penjelasan peta *hazard* gempa Indonesia 2010 ..... 6
Tabel 2. Klasifikasi *site* didasarkan atas korelasi penyelidikan tanah lapangan dan laboratorium (SNI-2002, UBC-97, IBC-2009, ASCE 7-10,) ..... 16
Tabel 3. Faktor amplifikasi untuk PGA ($F_{PGA}$) (ASCE 7-10) ..... 18
Tabel 4. Koefisien periode pendek, $F_a$ ..... 19
Tabel 5. Koefisien periode 1.0 detik, $F_v$ ..... 19

# 1 PENDAHULUAN

Indonesia termasuk dalam wilayah yang sangat rawan bencana gempa bumi seperti halnya Jepang dan California karena posisi geografisnya menempati zona tektonik yang sangat aktif. Hal ini dikarenakan tiga lempeng besar dunia dan sembilan lempeng kecil lainnya saling bertemu di wilayah Indonesia serta membentuk jalur-jalur pertemuan lempeng yang kompleks. Keberadaan interaksi antar lempeng-lempeng ini menempatkan wilayah Indonesia sebagai wilayah yang sangat rawan terhadap gempa bumi. Tingginya aktivitas kegempaan ini terlihat dari hasil rekaman dan catatan sejarah dalam rentang waktu 1900-2009 terdapat lebih dari 50.000 kejadian gempa dengan magnituda $M \geq 5.0$ dan setelah dihilangkan gempa ikutannya terdapat lebih dari 14.000 gempa utama (*main shocks*). Kejadian gempa utama dalam rentang waktu tersebut dapat dilihat dalam Gambar 1 yang dikumpulkan dari berbagai sumber seperti, dari katalog gempa Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG), *Nasional Earthquake Information Center U.S. Geological Survey* (NEIC-USGS), beberapa katalog perorangan Abe, Abe dan Noguchi, serta Gutenberg & Richter, dan katalog Centennial dimana merupakan kompilasi katalog Abe, Abe & Noguchi, dan Newcomb & McCann.




Gambar 1. Data episenter gempa utama di Indonesia dan sekitarnya untuk magnituda $M \geq 5.0$ yang dikumpulkan dari berbagai sumber dalam rentang waktu tahun 1900-2009.

Dalam mengantisipasi bahaya gempa, pemerintah Indonesia telah mempunyai standar peraturan perencanaan ketahanan gempa untuk stuktur bangunan gedung yaitu SNI-03-1726-2002. Sejak diterbitkannya peraturan ini, tercatat beberapa gempa besar dalam 6 tahun terakhir, seperti gempa Aceh disertai tsunami tahun 2004 ($M_w$ = 9,2), Gempa Nias tahun 2005 ($M_w$ = 8,7), gempa Yogya tahun 2006 ($M_w$ = 6,3), dan

terakhir gempa Padang tahun 2009 ($M_w$ = 7,6). Gempa-gempa tersebut telah menyebabkan ribuan korban jiwa, keruntuhan dan kerusakan ribuan infrastruktur, serta dana trilyunan rupiah untuk rehabilitasi dan rekonstruksi. Pencegahan kerusakan akibat gerakan tanah dapat dilakukan melalui proses perencanaan dan konstruksi yang baik dan dengan memperhitungkan suatu tingkat beban gempa rencana. Sehingga dalam perencanaan infrastruktur tahan gempa perlu diketahui beban gempa rencana yang dapat diperoleh berdasarkan peta *hazard* gempa Indonesia.

Indonesia pertama kali mempunyai peta *hazard* gempa pada tahun 1983, yaitu dalam Peraturan Perencanaan Tahan Gempa Indonesia untuk Gedung (PPTI-UG 1983). Peta gempa ini membagi Indonesia menjadi enam zona gempa. PPTI-UG 1983 diperbaharui pada tahun 2002 dengan keluarnya Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Bangunan Gedung SNI 03-1726-2002. Peraturan pengganti ini disusun dengan mengacu pada UBC 1997. Peta gempa yang ada dalam SNI 2002 tersebut berupa peta percepatan puncak atau *Peak Ground acceleration* (PGA) di batuan dasar ($S_B$) untuk probabilitas terlampaui 10% dalam masa layan bangunan 50 tahun atau bersesuaian dengan perioda ulang gempa 500 tahun.

Standar perencanaan umumnya selalu diperbarui guna mengakomodir perkembangan iptek dan data-data kejadian gempa terbaru. Dengan adanya kejadian gempa-gempa besar seperti gempa Aceh tahun 2004 maka sudah selayaknya peta gempa yang ada perlu direvisi. Dalam upaya merevisi peta gempa Indonesia ini dan untuk mengintegrasikan berbagai keilmuan terkait bidang kegempaan, maka pada tahun 2009 di bawah koordinasi Kementerian Pekerjaan Umum telah dibentuk Tim Revisi Peta Gempa Indonesia 2010 dengan susunan anggota sebagai berikut; Ketua Prof. Dr. Masyhur Irsyam (Geoteknik Kegempaan-ITB), Wakil Ketua Dr. Wayan Sengara (Geoteknik Kegempaan-ITB), Sekretaris Fahmi Aldiamar, MT. (Geoteknik Kegempaan-PU), dan anggota Prof. Dr. Sri Widiyantoro (Seismologi-ITB), Dr. Wahyu Triyoso (Seismologi-ITB), Dr. Danny Hilman Natawidjaja (Geologi Kegempaan-LIPI), Ir. Engkon Kertapati (Geologi-Badan Geologi), Dr. Irwan Meilano (Geodesi Kegempaan-ITB), drs. Suhardjono Dipl.Seis (Seismologi-BMKG), M. Asrurifak, MT. (Geoteknik Kegempaan-ITB), dan Ir. M. Ridwan, Dipl.E.Eng. (Geologi-PU).

Dengan menggunakan pendekatan probabilitas, Tim telah menghasilkan peta PGA dan spektra percepatan untuk perioda pendek (0.2 detik) dan perioda 1.0 detik dengan kemungkinan terlampaui 10% dalam 50 tahun, 10% dalam 100 tahun, dan 2% dalam 50 tahun atau yang mewakili tiga level hazard (potensi bahaya) gempa yaitu 500, 1000 dan 2500 tahun. Hasil analisis dari masing-masing level hazard gempa ini ditampilkan dalam bentuk kontur. Peta Gempa Indonesia 2010 ini digunakan sebagai acuan dasar perencanaan dan perancangan infrastruktur tahan gempa termasuk pengganti peta gempa yang ada di Standard Peraturan Perencanaan Ketahanan Gempa Indonesia (SNI-03-1726-2002).

## 2 METODOLOGI PEMBUATAN PETA *HAZARD* GEMPA INDONESIA

Prosedur yang dilakukan untuk pembuatan peta *hazard* gempa ini meliputi:

1) R*eview* dan studi literatur mengenai kondisi morfologi, geologi, geofisika dan seismologi dalam mengidentifikasi aktivitas sumber gempa di wilayah Indonesia,
2) Pengumpulan dan pengolahan data kejadian gempa yang terekam alat dan dari catatan sejarah di wilayah Indonesia,
3) Pemodelan zona sumber gempa berdasarkan peta sesar aktif dan model tektonik aktif yang sesuai untuk wilayah Indonesia,
4) Perhitungan parameter-parameter seismik yang meliputi *a-b parameter*, magnitude maksimum dan *slip-rate*,
5) Perhitungan *seismic hazard* dengan menggunakan Teorema Probabilitas Total,
6) Pembuatan peta gempa Indonesia yang berupa berupa peta percepatan maksimum dan respon spektra percepatan di batuan dasar untuk probabilitas kemungkinan resiko terlampaui 10% dalam 50 tahun, 10% dalam 100 tahun dan 2% dalam 50 tahun atau setara dengan periode ulang gempa 500, 1000 dan 2500 tahun,

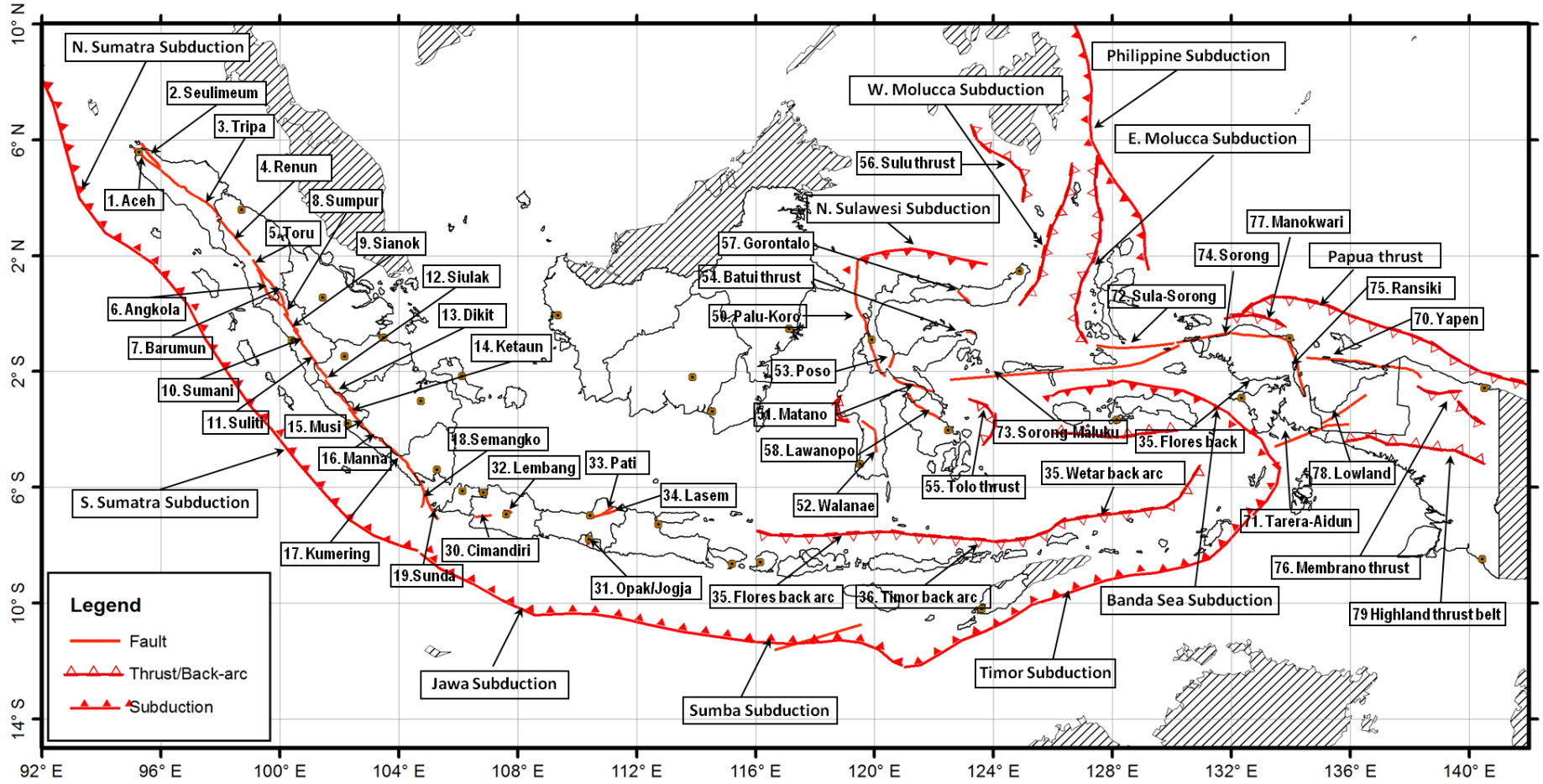
Berbagai parameter sumber gempa yang digunakan berasal dari berbagai publikasi, penelitian sebelumnya dari para anggota tim, dan informasi terkini yang didapatkan selama studi ini sehingga merangkum dan mengintegrasikan studi-studi yang telah dilakukan sebelumnya dan kajian-kajian lanjut berikutnya. Sumber-sumber gempa yang mempengaruhi Indonesia dikelompokkan ke dalam sumber gempa sesar, zona subduksi, dan *background* dengan model pengulangan (*recurrence model*) yang meliputi eksponensial terpancung (*truncated exponential*), karakteristik murni (*pure characteristic*) dan kombinasi keduanya. Pembuatan model sumber gempa ini telah dilakukan secara komprehensif dan terintegrasi dengan memperhitungkan (Tim Revisi Peta Gempa Indonesia, 2010a dan b):

- Katalog gempa yang digunakan untuk sumber gempa *background* mulai dari tahun 1900 s/d 2009 dan Katalog EHB (Engdahl, van der Hilst dan Buland) yang sudah di*update* hingga tahun 2009 digunakan untuk mengontrol geometri subduksi.
- Hasil tomografi untuk mengontrol keakuratan geometri subduksi sehingga dapat memberikan kepastian hasil nilai hazard yang lebih baik, mengingat nilai hazard ini sangat dipengaruhi oleh sudut kemiringan subduksi (jarak sumber gempa ke *site* yang ditinjau).
- Data pengukuran GPS dan interpretasi nilai slip-rate. Keakuratan nilai slip-rate sangat penting dalam analisis hazard, karena nilai slip-rate ini berpengaruh terhadap jumlah kejadian gempa pertahun dari sumber gempa yang ditinjau.
- Peta sesar aktif dari literatur yang ada dan dari hasil pemetaan cepat yang dilakukan selama studi berdasarkan analisis data *Digital Elevation Model* dari

*Shuttle Radar Topographic Mission 90* (SRTM-90) dan posisi hiposenter gempa-gempa yang sudah direlokasi. Koordinat sesar-sesar aktif ini mempengaruhi posisi dan pola kontur distribusi hazard yang dihasilkan sehingga ketepatan lokasi sangat penting.

- Berbagai fungsi atenuasi perambatan gelombang gempa terbaru seperti *Next Generation Attenuation* (NGA), dimana fungsi ini disusun dengan menggunakan data gempa global (*worldwide data*). Pemakaian fungsi atenuasi disesuaikan dengan kondisi tektonik dimana fungsi atenuasi ini diturunkan.
- *Gridded seismicity model* untuk sumber gempa *background* pada daerah-daerah yang mempunyai sejarah kegempaan tetapi identifikasi dan karakterisasi sesar aktifnya belum diketahui dengan baik sehingga probabilitas hazard daerah tersebut masih dapat terwakili dengan baik.
- *Logic tree* untuk mengakomodir ketidakpastian epistemik termasuk model pengulangan, magnitude maksimum, dan beberapa fungsi atenuasi.

Perhitungan PSHA dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak/*software* PSHA-USGS dan EZ-FRISK untuk verifikasi. Kedua perangkat lunak tersebut dipilih karena sudah menggunakan model 3D untuk memodelkan sumber gempa. Gambar 2 memberikan informasi tentang tatanan tektonik dan sesar aktif yang digunakan untuk perhitungan peta hazard gempa Indonesia.




Gambar 2. Peta Tektonik dan Sesar Aktif di Indonesia

## 3 PETA *HAZARD* GEMPA INDONESIA 2010

Peta hazard gempa Indonesia yang disajikan dalam buku panduan ini meliputi peta percepatan puncak (PGA) dan respon spektra percepatan di batuan dasar ($S_B$) untuk perioda pendek 0.2 detik ($S_s$) dan untuk perioda 1.0 detik ($S_1$) dengan redaman 5% mewakili tiga level hazard gempa yaitu 500, 1000 dan 2500 tahun atau memiliki kemungkinan terlampaui 10% dalam 50 tahun, 10% dalam 100 tahun, dan 2% dalam 50 tahun. Definisi batuan dasar $S_B$ adalah lapisan batuan di bawah permukaan tanah yang memiliki memiliki kecepatan rambat gelombang geser (Vs) mencapai 750 m/detik dan tidak ada lapisan batuan lain di bawahnya yang memiliki nilai kecepatan rambat gelombang geser yang kurang dari itu.

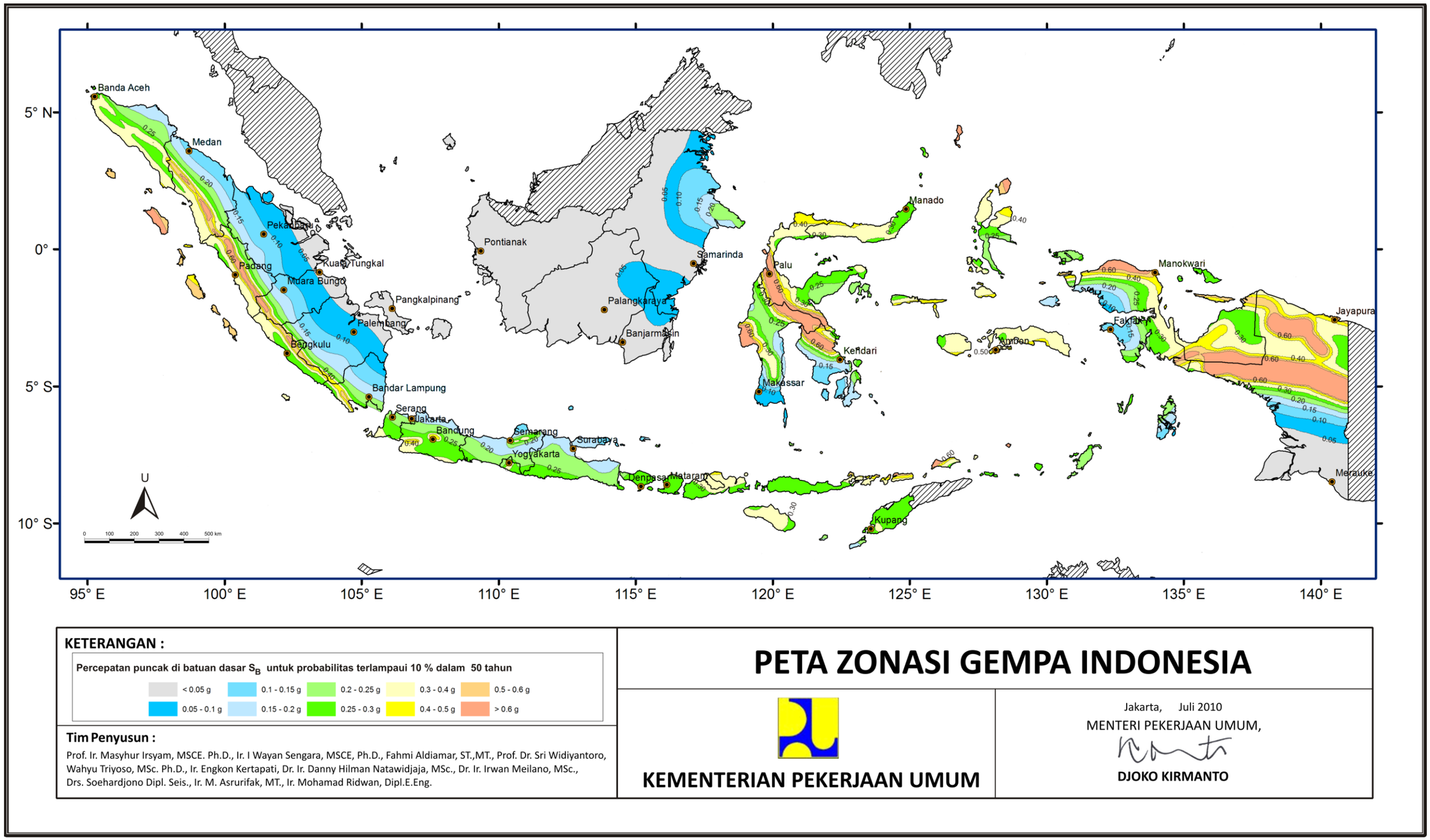
Dengan demikian untuk suatu lokasi tinjauan, PGA, $S_S$, dan $S_1$ di batuan dasar yang dibutuhkan untuk perencanaan dapat diperoleh. Penjelasan untuk masing-masing peta dapat dilihat dalam Tabel 1.

Tabel 1. Penjelasan peta *hazard* gempa Indonesia 2010

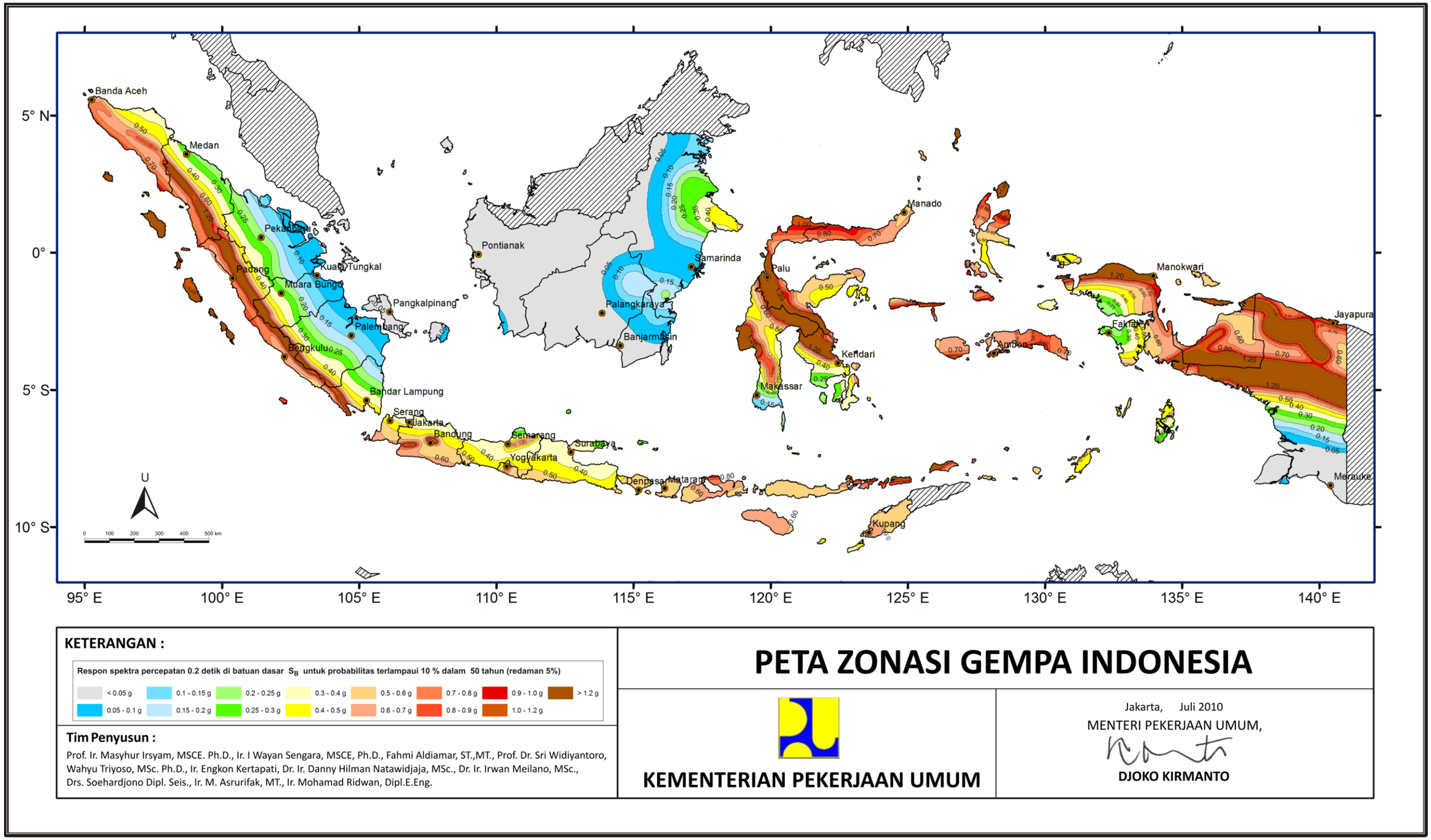
| No | No Gambar | Level Gempa*) | Keterangan |
|---|---|---|---|
| 1 | (Gambar 3) | 10% dalam 50 tahun (Gempa 500 tahun) | Peta percepatan puncak (PGA) di batuan dasar ($S_B$) |
| 2 | (Gambar 4) | | Peta respon spektra percepatan untuk perioda pendek 0.2 detik ($S_S$) di batuan dasar ($S_B$) |
| 3 | (Gambar 5) | | Peta respon spektra percepatan untuk perioda 1.0 detik ($S_1$) di batuan dasar ($S_B$) |
| 4 | (Gambar 6) | 10% dalam 100 tahun (Gempa 1000 tahun) | Peta percepatan puncak (PGA) di batuan dasar ($S_B$) |
| 5 | (Gambar 7) | | Peta respon spektra percepatan untuk perioda pendek 0.2 detik ($S_S$) di batuan dasar ($S_B$) |
| 6 | (Gambar 8) | | Peta respon spektra percepatan untuk perioda 1.0 detik ($S_1$) di batuan dasar ($S_B$) |
| 7 | (Gambar 9) | 2% dalam 50 tahun (Gempa 2500 tahun) | Peta percepatan puncak (PGA) di batuan dasar ($S_B$) |
| 8 | (Gambar 10) | | Peta respon spektra percepatan untuk perioda pendek 0.2 detik ($S_S$) di batuan dasar ($S_B$) |
| 9 | (Gambar 11) | | Peta respon spektra percepatan untuk perioda 1.0 detik ($S_1$) di batuan dasar ($S_B$) |

*) Keterangan:

Untuk bangunan gedung, 10% dan 2% kemungkinan terlampaui dalam 50 tahun umur bangunan menggambarkan kondisi *life safety* dan *collapse prevention*.




Gambar 1. Peta percepatan puncak (PGA) di batuan dasar ($S_B$) untuk probabilitas terlampaui 10% dalam 50 tahun




**KETERANGAN :**

Respon spektra percepatan 0.2 detik di batuan dasar $S_B$ untuk probabilitas terlampaui 10 % dalam 50 tahun (redaman 5%)

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| < 0.05 g | 0.1 - 0.15 g | 0.2 - 0.25 g | 0.3 - 0.4 g | 0.5 - 0.6 g | 0.7 - 0.8 g | 0.9 - 1.0 g | > 1.2 g | |
| 0.05 - 0.1 g | 0.15 - 0.2 g | 0.25 - 0.3 g | 0.4 - 0.5 g | 0.6 - 0.7 g | 0.8 - 0.9 g | 1.0 - 1.2 g | | |

**Tim Penyusun :**

Prof. Ir. Masyhur Irsyam, MSCE. Ph.D., Ir. I Wayan Sengara, MSCE, Ph.D., Fahmi Aldiamar, ST.,MT., Prof. Dr. Sri Widiyantoro, Wahyu Triyoso, MSc. Ph.D., Ir. Engkon Kertapati, Dr. Ir. Danny Hilman Natawidjaja, MSc., Dr. Ir. Irwan Meilano, MSc., Drs. Soehardjono Dipl. Seis., Ir. M. Asrurifak, MT., Ir. Mohamad Ridwan, Dipl.E.Eng.

# PETA ZONASI GEMPA INDONESIA

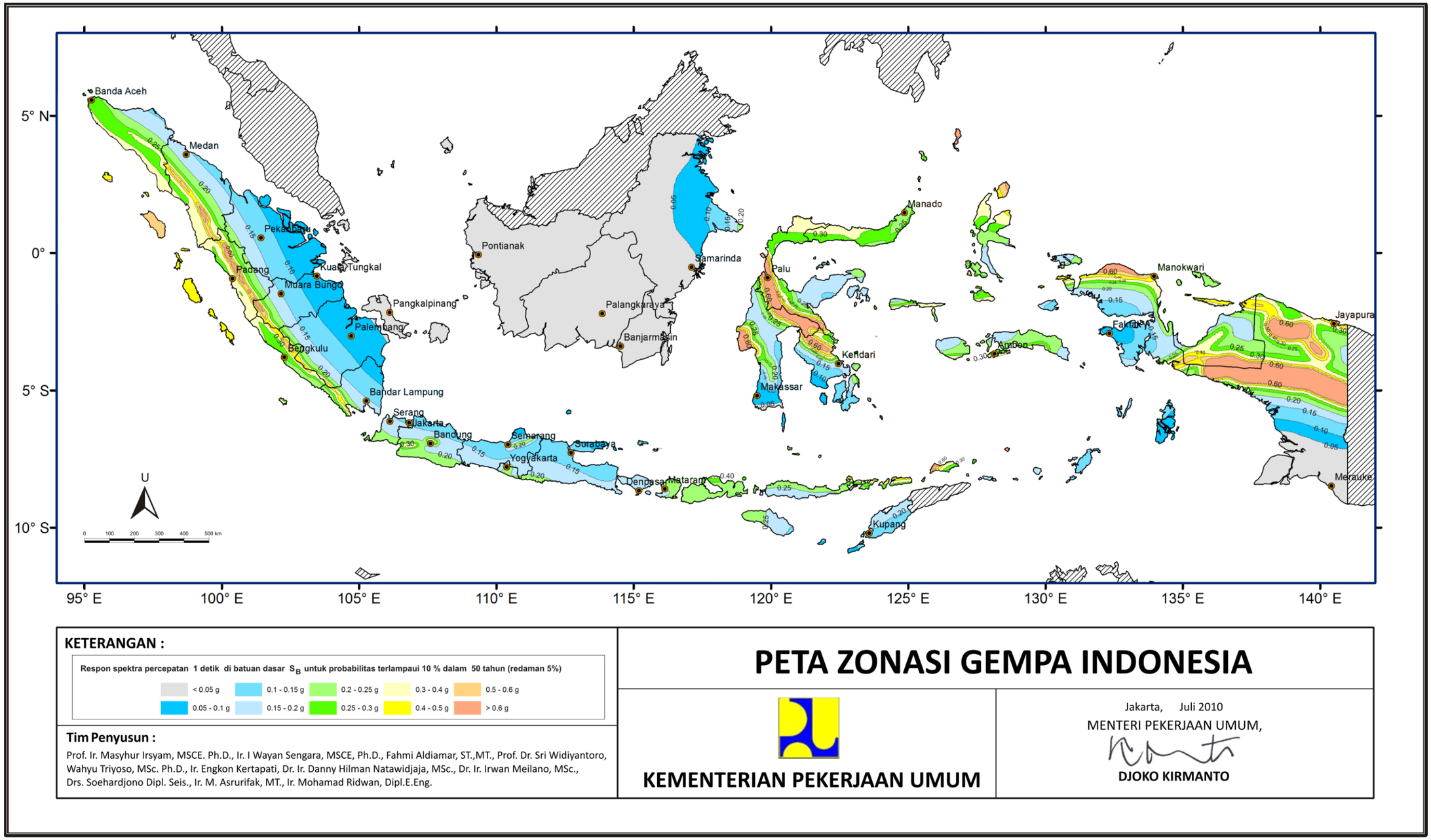
**KEMENTERIAN PEKERJAAN UMUM**

Jakarta, Juli 2010

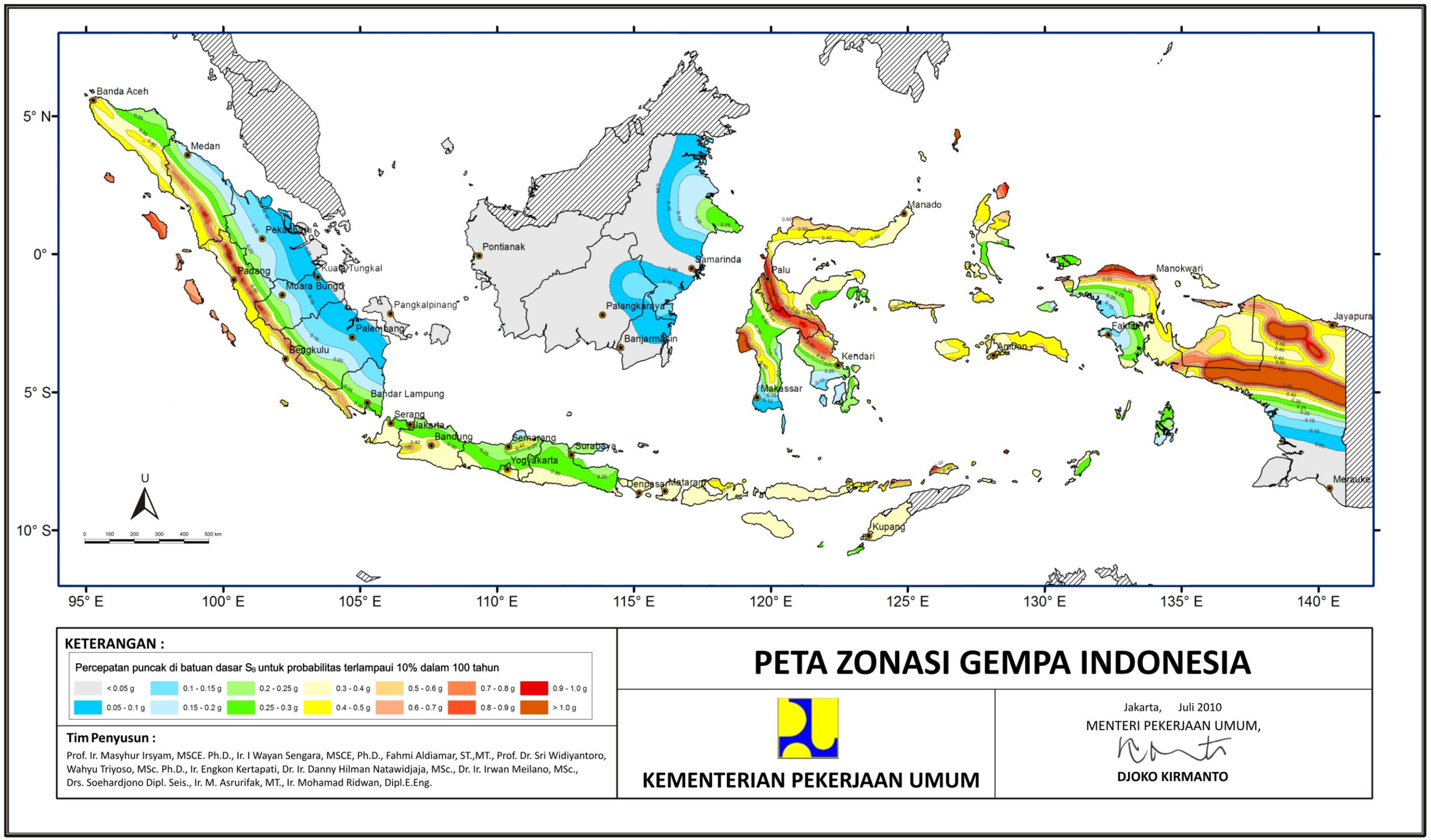
MENTERI PEKERJAAN UMUM,

**DJOKO KIRMANTO**

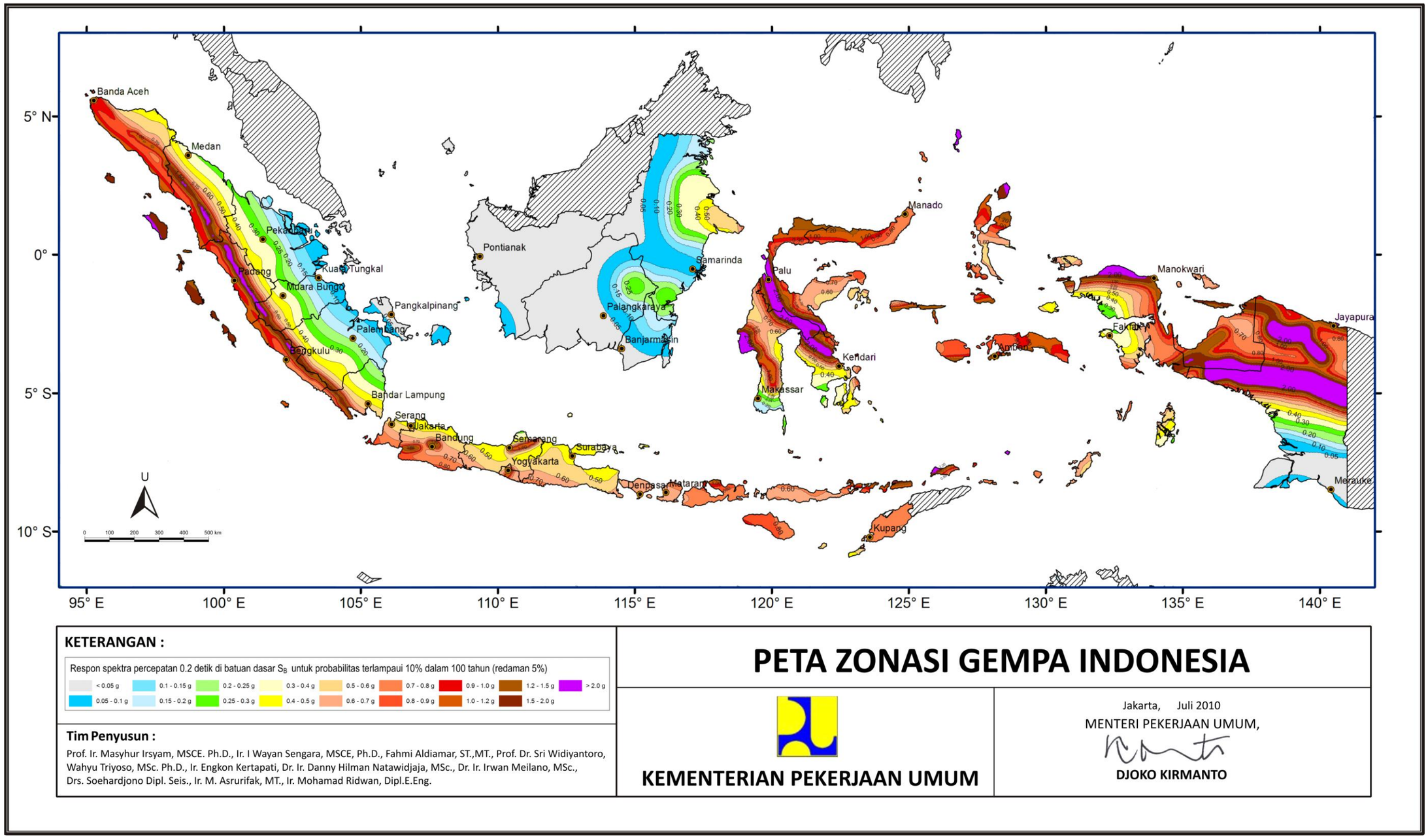
Gambar 2. Peta respon spektra percepatan 0.2 detik ($S_S$) di batuan dasar ($S_B$) untuk probabilitas terlampaui 10% dalam 50 tahun



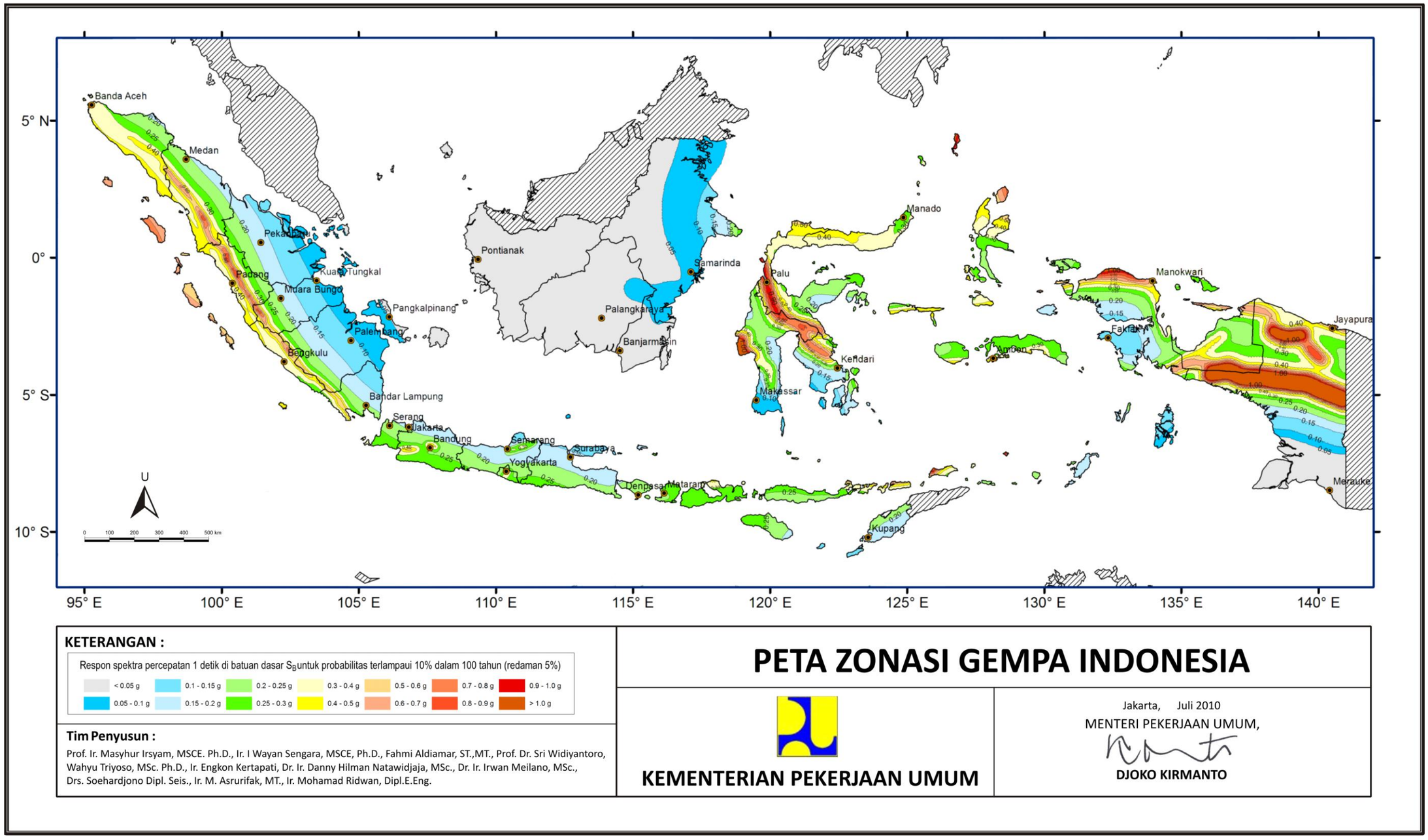

Gambar 3. Peta respon spektra percepatan 1.0 detik ($S_1$) di batuan dasar ($S_B$) untuk probabilitas terlampaui 10% dalam 50 tahun




Gambar 4. Peta percepatan puncak (PGA) di batuan dasar ($S_B$) untuk probabilitas terlampaui 10% dalam 100 tahun




Gambar 5. Peta respon spektra percepatan 0.2 detik ($S_S$) di batuan dasar ($S_B$) untuk probabilitas terlampaui 10% dalam 100 tahun




**KETERANGAN :**

Respon spektra percepatan 1 detik di batuan dasar $S_B$ untuk probabilitas terlampaui 10% dalam 100 tahun (redaman 5%)

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| < 0.05 g | 0.1 - 0.15 g | 0.2 - 0.25 g | 0.3 - 0.4 g | 0.5 - 0.6 g | 0.7 - 0.8 g | 0.9 - 1.0 g |
| 0.05 - 0.1 g | 0.15 - 0.2 g | 0.25 - 0.3 g | 0.4 - 0.5 g | 0.6 - 0.7 g | 0.8 - 0.9 g | > 1.0 g |

**Tim Penyusun :**

Prof. Ir. Masyhur Irsyam, MSCE. Ph.D., Ir. I Wayan Sengara, MSCE, Ph.D., Fahmi Aldiamar, ST.,MT., Prof. Dr. Sri Widiyantoro, Wahyu Triyoso, MSc. Ph.D., Ir. Engkon Kertapati, Dr. Ir. Danny Hilman Natawidjaja, MSc., Dr. Ir. Irwan Meilano, MSc., Drs. Soehardjono Dipl. Seis., Ir. M. Asrurifak, MT., Ir. Mohamad Ridwan, Dipl.E.Eng.

# PETA ZONASI GEMPA INDONESIA

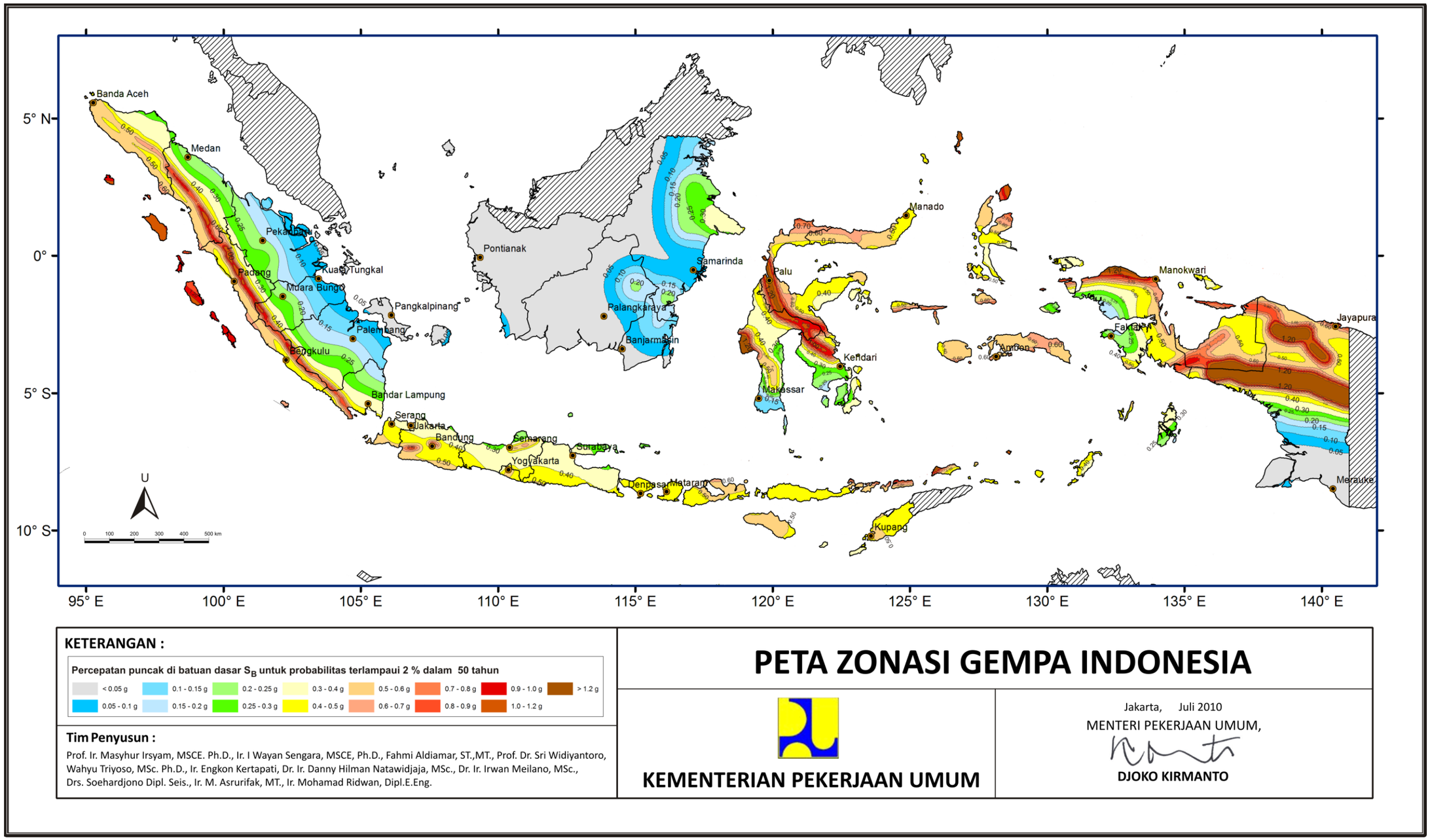
**KEMENTERIAN PEKERJAAN UMUM**

Jakarta, Juli 2010

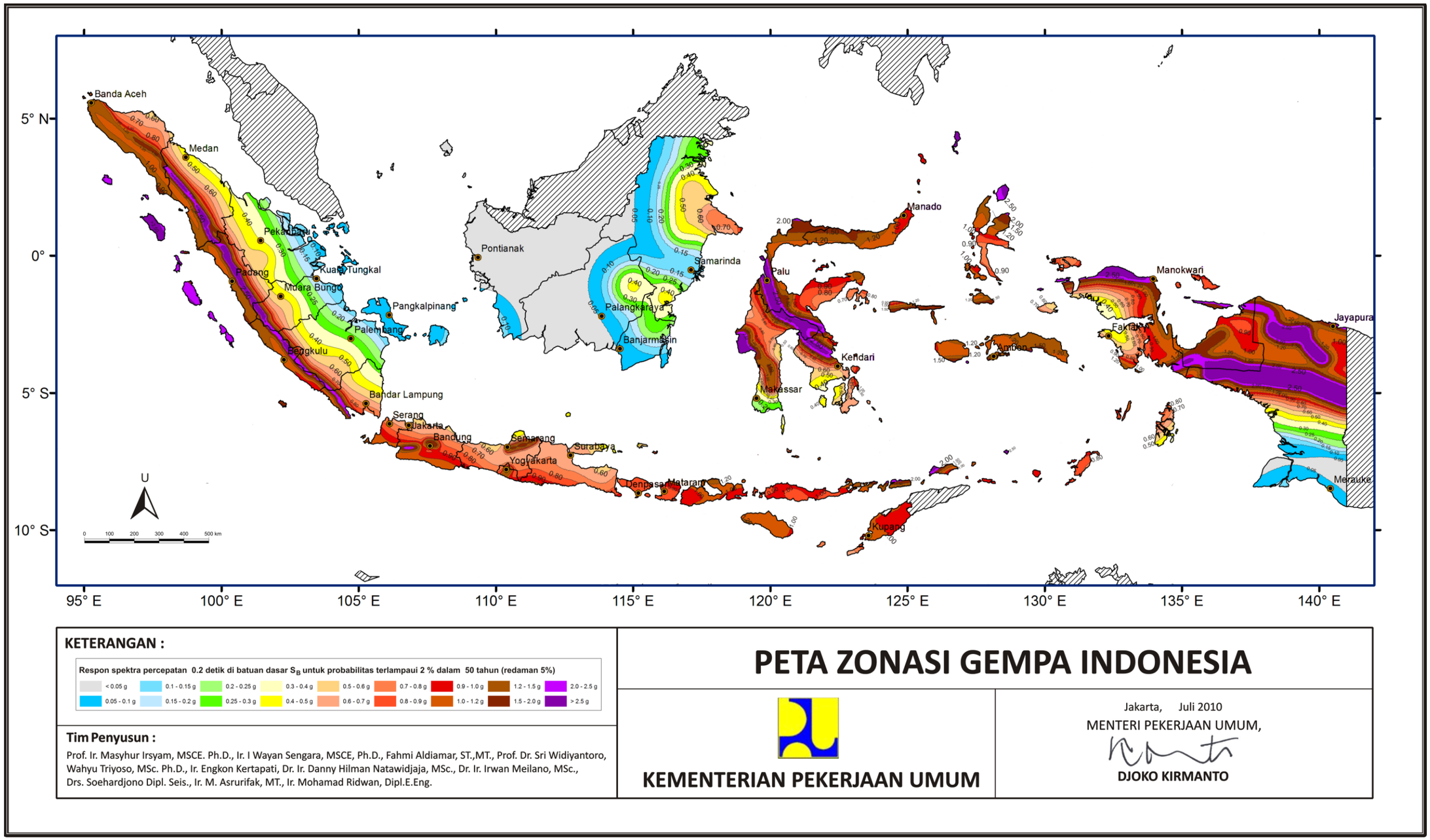
MENTERI PEKERJAAN UMUM,

**DJOKO KIRMANTO**

Gambar 6. Peta respon spektra percepatan 1.0 detik ($S_1$) di batuan dasar ($S_B$) untuk probabilitas terlampaui 10% dalam 100 tahun




Gambar 7. Peta percepatan puncak (PGA) di batuan dasar ($S_B$) untuk probabilitas terlampaui 2% dalam 50 tahun




**KETERANGAN :**

Respon spektra percepatan 0.2 detik di batuan dasar $S_B$ untuk probabilitas terlampaui 2 % dalam 50 tahun (redaman 5%)

| | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| < 0.05 g | 0.1 - 0.15 g | 0.2 - 0.25 g | 0.3 - 0.4 g | 0.5 - 0.6 g | 0.7 - 0.8 g | 0.9 - 1.0 g | 1.2 - 1.5 g | 2.0 - 2.5 g | |
| 0.05 - 0.1 g | 0.15 - 0.2 g | 0.25 - 0.3 g | 0.4 - 0.5 g | 0.6 - 0.7 g | 0.8 - 0.9 g | 1.0 - 1.2 g | 1.5 - 2.0 g | > 2.5 g | |

**Tim Penyusun :**

Prof. Ir. Masyhur Irsyam, MSCE. Ph.D., Ir. I Wayan Sengara, MSCE, Ph.D., Fahmi Aldiamar, ST.,MT., Prof. Dr. Sri Widiyantoro, Wahyu Triyoso, MSc. Ph.D., Ir. Engkon Kertapati, Dr. Ir. Danny Hilman Natawidjaja, MSc., Dr. Ir. Irwan Meilano, MSc., Drs. Soehardjono Dipl. Seis., Ir. M. Asrurifak, MT., Ir. Mohamad Ridwan, Dipl.E.Eng.

# PETA ZONASI GEMPA INDONESIA

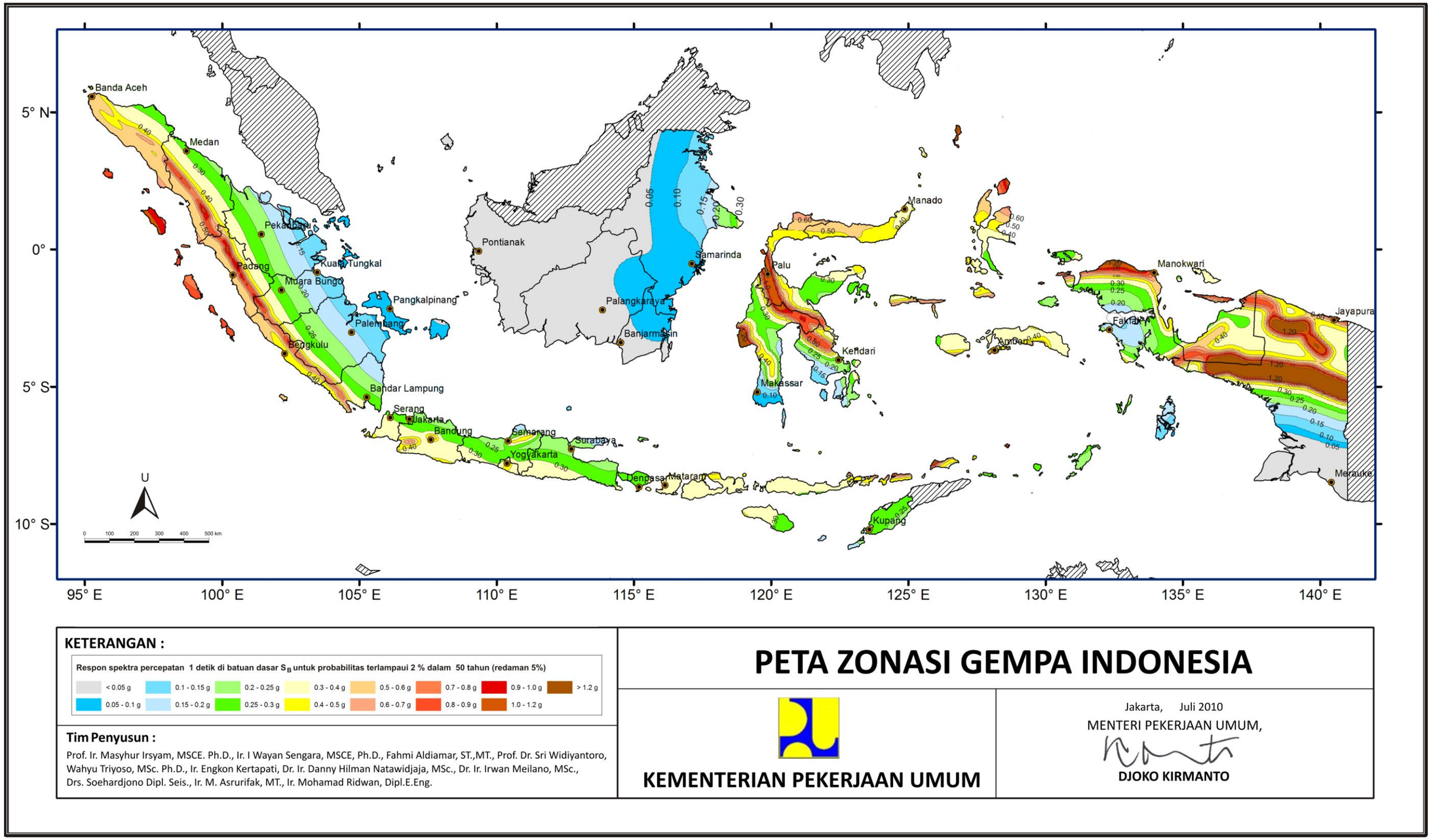
**KEMENTERIAN PEKERJAAN UMUM**

Jakarta, Juli 2010

MENTERI PEKERJAAN UMUM,

**DJOKO KIRMANTO**

Gambar 8. Peta respon spektra percepatan 0.2 detik ($S_S$) di batuan dasar ($S_B$) untuk probabilitas terlampaui 2% dalam 50 tahun




Gambar 9. Peta respon spektra percepatan 1.0 detik ($S_1$) di batuan dasar ($S_B$) untuk probabilitas terlampaui 2% dalam 50 tahun

## 4 GONCANGAN GEMPA DI PERMUKAAN TANAH DAN FAKTOR AMPLIFIKASI

Perambatan gelombang gempa dari batuan dasar ke permukaan tanah menyebabkan terjadinya perubahan goncangan gempa yang sampai di permukaan tanah dan dipengaruhi oleh kondisi lapisan tanah seperti jenis, ketebalan, kekakuan dan muka air tanah. Goncangan gempa yang sampai di permukaan tanah pada umumnya akan mengalami pembesaran atau amplifikasi. Faktor amplifikasi didefinisikan sebagai rasio besarnya percepatan puncak atau spektra percepatan di permukan dibagi percepatan puncak atau spektra percepatan di batuan dasar. Faktor amplifikasi ini memiliki nilai yang berbeda dan tergantung dari jenis dan modulus geser tanah sesuai dengan level tegangan dan regangan yang terjadi. Faktor amplifikasi yang digunakan dalam buku ini mengacu pada *American Society of Civil Engineers* (ASCE) 07-2010 dan *International Building Code* (IBC) 2009.

Besar amplifikasi di permukaan tanah dapat ditentukan dengan melakukan analisis respon spesifik *(Site-Specific Response Analysis)* yaitu dengan melakukan perambatan gelombang dari batuan dasar ke permukaan. Bila tidak dilakukan analisis respon spesifik, besar amplifikasi yang terjadi di permukaan tanah harus ditentukan mengikuti petunjuk di bawah ini. Petunjuk ini mengacu pada klasifikasi jenis tanah hingga kedalaman 30 m.

### 4.1 Klasifikasi *Site*

Untuk mendapatkan percepatan maksimum dan respon spektra di permukaan tanah di suatu lokasi tinjauan, terlebih dahulu perlu dilakukan klasifikasikan *site* (jenis tanah). Klasifikasi *site* harus ditentukan untuk lapisan setebal 30 m sesuai dengan definisi dalam Tabel 2 yang didasarkan atas korelasi hasil penyelidikan tanah lapangan dan laboratorium. Disarankan untuk menggunakan sedikitnya 2 (dua) jenis penyelidikan tanah yang berbeda dalam klasifikasi *site* ini.

Tabel 2. Klasifikasi *site* didasarkan atas korelasi penyelidikan tanah lapangan dan laboratorium (SNI-2002, UBC-97, IBC-2009, ASCE 7-10,)

| Klasifikasi *Site* | $\overline{V}_s$ *(m/dt)* | $\overline{N}$ | $\overline{S}_u$ *(kPa)* |
|---|---|---|---|
| A. Batuan Keras | $\overline{V}_s \geq 1500$ | N/A | N/A |
| B. Batuan | $750 < \overline{V}_s \leq 1500$ | N/A | N/A |
| C. Tanah Sangat Padat dan Batuan Lunak | $350 < \overline{V}_s \leq 750$ | $\overline{N} > 50$ | $\overline{S}_u \geq 100$ |
| D. Tanah Sedang | $175 < \overline{V}_s \leq 350$ | $15 \leq \overline{N} \leq 50$ | $50 \leq \overline{S}_u \leq 100$ |
| E. Tanah Lunak | $\overline{V}_s < 175$ | $\overline{N} < 15$ | $\overline{S}_u < 50$ |
| | Atau setiap profil lapisan tanah dengan ketebalan lebih dari 3 m dengan karateristik sebagai berikut :<br>1. Indeks plastisitas, PI > 20,<br>2. Kadar air (w) $\geq$ 40%, dan<br>3. Kuat geser tak terdrainase $\overline{S}_u$ < 25 kPa | | |

| | |
|---|---|
| F. Lokasi yang membutuhkan penyelidikan geoteknik dan analisis respon spesifik *(Site-Specific Response Analysis)* | Setiap profil lapisan tanah yang memiliki salah satu atau lebih dari karakteristik seperti:<br>- Rentan dan berpotensi gagal terhadap beban gempa seperti likuifaksi, tanah lempung sangat sensitif, tanah tersementasi lemah<br>- Lempung organik tinggi dan/atau gambut (dengan ketebalan > 3m)<br>- Plastisitas tinggi (ketebalan H > 7.5m dengan PI > 75)<br>- Lapisan lempung lunak/medium kaku dengan ketebalan H > 35m |

*Keterangan: N/A = tidak dapat dipakai*

Dalam Tabel 2, $\overline{V}_s$, $\overline{N}$, dan $\overline{S}_u$ adalah nilai rata-rata dan harus dihitung menurut persamaan-persamaan berikut :

$$\overline{V}_s = \frac{\sum_{i=1}^{m} t_i}{\sum_{i=1}^{m} t_i / v_{si}} \quad \text{.....(1)}$$

$$\overline{N} = \frac{\sum_{i=1}^{m} t_i}{\sum_{i=1}^{m} t_i / N} \quad \text{.....(2)}$$

$$\overline{S}_u = \frac{\sum_{i=1}^{m} t_i}{\sum_{i=1}^{m} t_i / S_{ui}} \quad \text{.....(3)}$$

dimana :

$t_i$ = tebal lapisan tanah ke-i antara kedalaman 0 sampai 30 m.

$V_{si}$ = kecepatan rambat gelombang geser pada lapisan tanah ke-i dalam satuan m/detik.

$N_i$ = nilai hasil Uji Penetrasi Standar (SPT) lapisan tanah ke-i.

$S_{ui}$ = kuat geser *undrained* (tak terdrainase) lapisan tanah ke-i.

m = jumlah lapisan tanah yang ada antara kedalaman 0 sampai 30 m.

$\sum_{i=1}^{m} t_i$ = 30 m.

### 4.2 Penentuan Percepatan Puncak di Permukaan Tanah

Besarnya percepatan puncak di permukaan tanah diperoleh dengan mengalikan faktor amplifikasi untuk PGA ($F_{PGA}$) dengan nilai PGA yang diperoleh dari Gambar 3, Gambar 6, atau Gambar 9. Besarnya $F_{PGA}$ tergantung dari klasifikasi *site* yang didasarkan pada Tabel 2 dan nilainya ditentukan sesuai Tabel 3.

Tabel 3. Faktor amplifikasi untuk PGA ($F_{PGA}$) (ASCE 7-10)

| **Klasifikasi *Site*** (Sesuai Tabel 2) | **$S_{PGA}$** | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | PGA ≤ 0.1 | PGA = 0.2 | PGA= 0.3 | PGA = 0.4 | PGA ≥ 0.5 |
| Batuan Keras ($S_A$) | 0.8 | 0.8 | 0.8 | 0.8 | 0.8 |
| Batuan ($S_B$) | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 |
| Tanah Sangat Padat dan Batuan Lunak ($S_C$) | 1.2 | 1.2 | 1.1 | 1.0 | 1.0 |
| Tanah Sedang ($S_D$) | 1.6 | 1.4 | 1.2 | 1.1 | 1.0 |
| Tanah Lunak ($S_E$) | 2.5 | 1.7 | 1.2 | 0.9 | 0.9 |
| Tanah Khusus ($S_F$) | SS | SS | SS | SS | SS |

Keterangan:

$S_{PGA}$ = Nilai PGA di batuan dasar ($S_B$) mengacu pada Peta Gempa Indonesia 2010 (Gambar 3, Gambar 6, atau Gambar 9).

SS = Lokasi yang memerlukan investigasi geoteknik dan analisis respon spesifik.

Percepatan puncak di permukaan tanah dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan berikut:

$$PGA_M = F_{PGA} \times S_{PGA} \quad \text{.....(4)}$$

dimana:

$PGA_M$ = nilai percepatan puncak di permukaan tanah berdasarkan klasifikasi *site*.

$F_{PGA}$ = faktor amplifikasi untuk PGA.

### 4.3 Penentuan Respon Spektra di Permukaan Tanah

Respon spektra adalah nilai yang menggambarkan respon maksimum dari sistem berderajat-kebebasan-tunggal (SDOF) pada berbagai frekuensi alami (periode alami) teredam akibat suatu goyangan tanah. Untuk kebutuhan praktis, maka respon spektra percepatan dibuat dalam bentuk respon spektra yang sudah disederhanakan.

Untuk penentuan parameter respon spektra percepatan di permukaan tanah, diperlukan faktor amplifikasi terkait spektra percepatan untuk periode pendek ($F_a$) dan periode 1.0 detik ($F_v$). Selanjutnya parameter respon spektra percepatan di permukaan tanah dapat diperoleh dengan cara mengalikan Koefisien $F_a$ dan $F_v$ dengan spektra percepatan untuk perioda pendek ($S_S$) dan perioda 1.0 detik ($S_1$) di batuan dasar yang diperoleh dari peta gempa Indonesia 2010 sesuai rumus berikut:

$$S_{MS} = F_a \times S_s \quad \text{.....(5)}$$

$$S_{M1} = F_v \times S_1 \quad \text{.....(6)}$$

dimana

$S_s$ = Nilai spektra percepatan untuk periode pendek 0.2 detik di batuan dasar ($S_B$) mengacu pada Peta Gempa Indonesia 2010 (Gambar 4, Gambar 7 atau Gambar 10).

$S_1$ = Nilai spektra percepatan untuk periode 1.0 detik di batuan dasar ($S_B$) mengacu pada Peta Gempa Indonesia 2010 (Gambar 5, Gambar 8 atau Gambar 11).

$F_a$ = Koefisien perioda pendek

$F_v$ = Koefisien perioda 1.0 detk

Tabel 4 dan Tabel 5 memberikan nilai-nilai $F_a$ dan $F_v$ untuk berbagai klasifikasi *site*.

Tabel 4. Koefisien periode pendek, $F_a$

| **Klasifikasi *Site*** (Sesuai Tabel 2) | **$S_S$** | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | Ss ≤ 0.25 | Ss = 0.5 | Ss= 0.75 | Ss = 1.0 | Ss ≥ 1.25 |
| Batuan Keras ($S_A$) | 0.8 | 0.8 | 0.8 | 0.8 | 0.8 |
| Batuan ($S_B$) | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 |
| Tanah Sangat Padat dan Batuan Lunak ($S_C$) | 1.2 | 1.2 | 1.1 | 1.0 | 1.0 |
| Tanah Sedang ($S_D$) | 1.6 | 1.4 | 1.2 | 1.1 | 1.0 |
| Tanah Lunak ($S_E$) | 2.5 | 1.7 | 1.2 | 0.9 | 0.9 |
| Tanah Khusus ($S_F$) | SS | SS | SS | SS | SS |

Tabel 5. Koefisien periode 1.0 detik, $F_v$

| **Klasifikasi *Site*** (Sesuai Tabel 2) | **$S_1$** | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | $S_1$ ≤ 0.1 | $S_1$ = 0.2 | $S_1$ = 0.3 | $S_1$ =0.4 | $S_1$ ≥ 0.5 |
| Batuan Keras ($S_A$) | 0.8 | 0.8 | 0.8 | 0.8 | 0.8 |
| Batuan ($S_B$) | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 |
| Tanah Sangat Padat dan Batuan Lunak ($S_C$) | 1.7 | 1.6 | 1.5 | 1.4 | 1.3 |
| Tanah Sedang ($S_D$) | 2.4 | 2.0 | 1.8 | 1.6 | 1.5 |
| Tanah Lunak ($S_E$) | 3.5 | 3.2 | 2.8 | 2.4 | 2.4 |
| Tanah Khusus ($S_F$) | SS | SS | SS | SS | SS |

SS = Lokasi yang memerlukan investigasi geoteknik dan analisis respon *site* spesifik

Selanjutnya, untuk mendapatkan parameter respon spektra desain, spektra percepatan desain untuk perioda pendek dan perioda 1.0 detik dapat diperoleh melalui perumusan berikut ini:

$$S_{DS} = \mu\ S_{MS} \quad \text{.....(5)}$$

$$S_{D1} = \mu\ S_{M1} \quad \text{.....(6)}$$

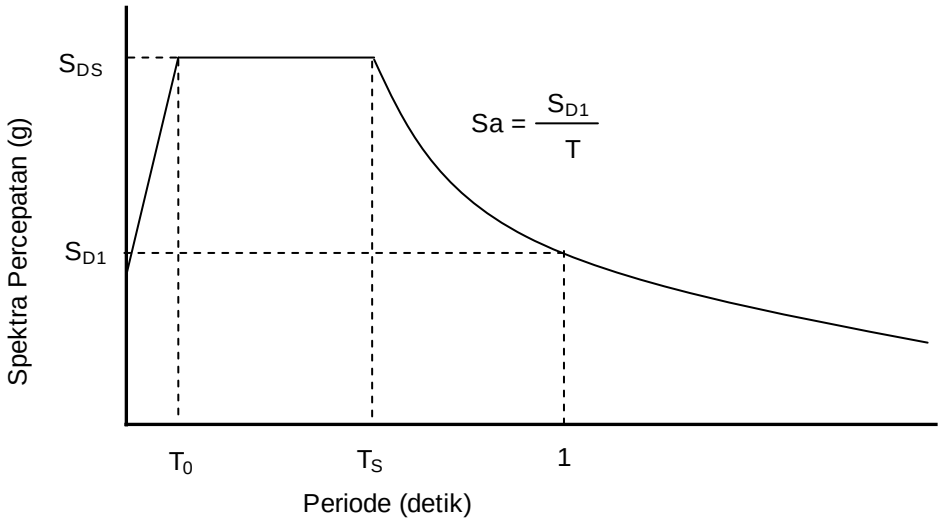
Dimana

$S_{DS}$ = respon spektra percepatan desain untuk perioda pendek.

$S_{D1}$ = respon spektra percepatan desain untuk perioda 1.0 detik.

μ = konstanta yang tergantung pada peraturan perencanaan bangunan yang digunakan, misalnya untuk IBC-2009 dan ASCE 7-10 dengan gempa 2500 tahun menggunakan nilai μ sebesar 2/3 tahun.

Selanjutnya respon spektra desain di permukaan tanah dapat ditetapkan sesuai dengan gambar dibawah ini:




Gambar 12. Bentuk tipikal respon spektra desain di permukaan tanah

dimana:

1. Untuk periode lebih kecil dari $T_0$, respon spektra percepatan, $S_a$ didapatkan dari persamaan berikut :

$$S_a = S_{DS}\left(0.4 + 0.6\frac{T}{T_0}\right) \quad \text{.....(7)}$$

2. Untuk periode lebih besar atau sama dengan $T_0$, dan lebih kecil atau sama dengan $T_S$, respon spektra percepatan, $S_a$ adalah sama dengan $S_{DS}$.
3. Untuk periode lebih besar dari $T_S$, respon spektra percepatan, $S_a$ didapatkan dari persamaan berikut :

$$S_a = \frac{S_{D1}}{T} \quad \text{.....(8)}$$

Keterangan :

$T_0 = 0.2\ T_s$

$T_s = \frac{S_{D1}}{S_{DS}}$

# 5 PENUTUP

Tim Revisi Peta Gempa Indonesia telah menghasilkan peta *hazard* gempa di batuan dasar untuk probabilitas terlampaui 10% dalam 50 tahun, 10% dalam 100 tahun, dan 2% dalam 50 tahun atau yang mewakili tiga level hazard (potensi bahaya) gempa yaitu 500, 1000 dan 2500 tahun. Selanjutnya peta ini telah disetujui untuk digunakan sebagai acuan dasar perencanaan dan perancangan infrastruktur tahan gempa termasuk pengganti peta gempa yang ada di Standard Peraturan Perencanaan Ketahanan Gempa Indonesia (SNI-03-1726-2002)

Untuk mendapatkan percepatan puncak atau respon spektra percepatan di permukaan tanah untuk suatu lokasi, pertama perlu menentukan klasifikasi *Site* sesuai dengan Tabel 2, kedua mengalikan percepatan puncak atau spektra percepatan di batuan dasar dengan faktor amplifikasi sesuai Tabel 3, 4, dan 5.

Dalam pemodelan sumber gempa untuk PSHA, Tim sudah berusaha secara komprehensif dan terintegrasi dengan memperhitungkan hasil tomografi, pengukuran GPS terbaru, *Shuttle Radar Topographic Mission 90* (SRTM-90), hiposenter gempa yang sudah direlokasi, data sesar aktif yang sudah di-*update*, fungsi atenuasi perambatan gelombang gempa terbaru seperti *Next Generation Attenuation* (NGA) serta penerapan *logic-tree* untuk mengakomodir ketidakpastian epistemik. Namun demikan, bukan berarti peta ini sudah sempurna. Masih banyak studi dibidang tektonik aktif dan perambatan gelombang yang harus dilakukan untuk melengkapi data yang sudah ada, yaitu mencakup pemetaan dan studi sesar-sesar aktif baik yang sudah teridentifikasi ataupun belum dan studi atenuasi yang didasarkan pada rekaman *strong ground motion* gempa-gempa Indonesia serta kajian-kajian mikrozonasi gempa. Sehingga kedepannya peta ini perlu terus disempurnakan secara berkala dalam upaya mengurangi resiko akibat gempa.

## DAFTAR PUSTAKA


American Society of Civil Engineers (ASCE), (2010), Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures, *American Society of Civil Engineers*, No.7, ISBN 978-0-7844-1115-5.

Badan Standarisasi Nasional (2002), *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Bangunan Gedung* SNI 03-1726-2002, Standar Nasional Indonesia

Departemen Pekerjaan Umum, Ditjen Cipta Karya, Direktorat Masalah Bangunan, (1983), *Peraturan Perencanaan Tahan Gempa Indonesia untuk Gedung.*

Engdahl, E. R., van der Hilst, R. D. dan Buland, R. (1998), Global teleseismic earthquake relocation with improved travel times and procedures for depth determination. *Bulletin of the Seismological Society of America ,* 88, 722-743

Internasional Building Code (IBC), (2009), International Code Council, Inc.

Harmsen, S., (2007), USGS Software for Probabilistic Seismic Hazard Analysis(PSHA) Draft Document, June 2007.

Risk Engineering, (2007), Software for Eartquake groundmotion estimation, user manual, background and theories, attenuation function, USGS.

Tim Revisi Peta Gempa Indonesia, (2010a), *Ringkasan Hasil Studi Tim Revisi Peta Gempa Indonesia 2010*, Bandung I Juli 2010, Laporan Studi.

Tim Revisi Peta Gempa Indonesia, (2010b), *Hasil Studi Tim Revisi Peta Gempa Indonesia 2010*. Laporan Studi.

Uniform Building Code (UBC), (1997), Volume 2, International Conference of Building Official.

USGS, NEIC. (2008), *Seismic Hazard of Western Indonesia*, Map prepare by United State of Geology Survey, URL http://earthquake.usgs.gov/research/hazmap/product_data/